

František KREPELKA¹, Milan LABAŠ², Lucia IVANIČOVÁ³, Viera MIKLÚŠOVÁ⁴

HODNOTENIE VIBRÁCIÍ VO FREKVENČNEJ OBLASTI PRI VRTANÍ HORNÍN

EVALUATION OF VIBRATION MEASUREMENTS AT ROCK DRILLING

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá metódou merania vibrácií pri rotačnom vrtaní andezitu, žuly a vápenca. Merania boli robené na skúšobnom vrtacom stande s impregnovanými diamantovými korunkami. Vibračný signál bol monitorovaný zariadením Microlog CMVA55 pri postupne sa meniacich hodnotách otáčok a postupne sa meniacom prítlaku. Frekvenčné spektrum vibrácií vykazuje výraznú amplitúdu zodpovedajúcu otáčkovej hladine vrtného nástroja. Frekvenčné spektrum obsahuje aj vyššie harmonické a subharmonické frekvencie.

Abstract

The paper presents a method for vibration measurements at rotary drilling of andesite, granite and limestone. The measurements were carried out on the drilling stand using diamond-impregnated bits. Vibration signal was monitored by Microlog CMVA55 at stepwise changed revolutions and at stepwise changed thrust force. Vibration frequency spectrum contains significant amplitude, which denotes the frequency of revolutions of the drilling tool. Frequency spectrum of measurements contains also higher harmonic and subharmonic frequencies.

Keywords: Rock disintegration, drilling, vibration signal, vibration spectrum.

1 ÚVOD

V strojných technológiách sa monitoruje proces obrábania kovov ako aj kompozitov. Doterajšia prax potvrdzuje, že signál vibrácií pri obrábaní kovov rôznymi technológiami je nositeľom informácií o stave obrábacích komponentov (Abu-Mahfouz, 2003, Beňo, Maňková 2004, Quadro, Branco, 1997, Tandon, Choudhury, 1999).

Rotačné vrtanie napriek pokroku v technológiách rozpojovania hornín je stále najrozšírenejšou technológiou pri využívaní nerastných surovín. Vrtanie je dôležitou technológiou pri prieskume, otvárke a dobývaní nerastných surovín. Vibrácie a chvenie sú súčasťou procesu mechanického rozpojovania hornín vrtaním. Vznikajú pri interakcii rozpojovacieho nástroja s rozpojovanou horninou. V technickej praxi poznáme viac druhov vibrácií. Dominantnými v procese rozpojovania hornín sú vynútené vibrácie, ktoré sú nositeľmi informácií o stave rozpojovacieho nástroja, parametroch rozpojovania a tiež o vlastnostiach rozpojovaných hornín. Štúdium vynútených vibrácií v závislosti od režimových parametrov (prítlak a otáčky) pri rozpojení hornín umožní presnejšie definovať mechanizmus mechanického rozpojovania hornín.

¹ Ing. František Krepelka, Ph.D., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53, tel.: (+421) 55792 2640, e-mail: krepelka@saske.sk.

² Ing. Milan Labaš, Ph.D., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53, tel.: (+421) 55792 2648, e-mail: labas@saske.sk.

³ Ing. Lucia Ivaničová, Ph.D., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53, tel.: (+421) 55792 2641, e-mail: ivanic@saske.sk.

⁴ Mgr. Viera Miklušová, Ph.D., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53, tel.: (+421) 55792 2639, e-mail: miklusv@saske.sk.

Vibrácie sa snímajú dynamometrami alebo akcelerometrami. Signály z uvedených meracích zariadení je možné vyhodnocovať v časovej a frekvenčnej oblasti. Výsledky štatistického spracovania signálov sa najčastejšie popisujú distribučnou funkciou alebo hustotou rozdelenia pravdepodobnosti. Pre hodnotenie signálov vo frekvenčnej oblasti je dôležitá frekvencia vzorkovania. V príspevku sú vyhodnotené náhodné signály vibrácií pri rotačnom jadrovom vŕtaní s nástrojom s priemerom 46 mm v andezite, vápenci a žule na rozpojovacom stande.

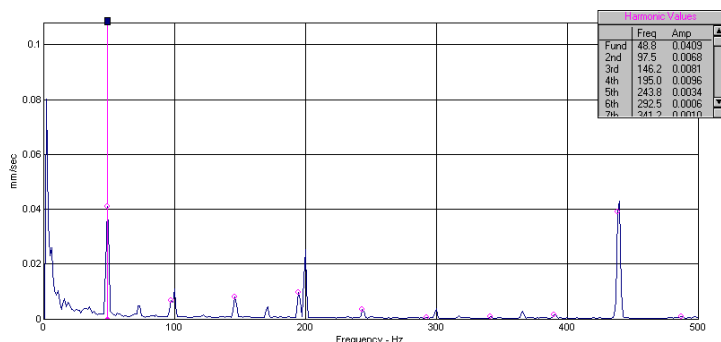
2 MERANIE VIBRÁCIÍ PRI VŔTANÍ HORNÍN

Experimenty rozpojovania hornín vŕtaním študujeme na experimentálnom laboratórnom vŕtacom stande. V prevažnej miere používame na rozpojovanie diamantové nástroje s priemerom 46 mm. Vŕtací stand pozostáva z ocelevej konštrukcie, hnacieho jednosmerného elektromotora s výkonom 12,5 kW, vreteníka s jadrovkou a vŕtacieho nástroja. Otáčky a prítlak vŕtacieho standu sa dajú plynule regulovať v intervale $0 - 30 \text{ s}^{-1}$ a $0 - 20000 \text{ N}$. Mechanické kmity a vibrácie boli snímané piezoelektrickou sondou. Sonda bola mechanicky uchytená na rám vŕtacieho standu. Na registráciu vibrácií bolo použité meracie vibračné zariadenie Microlog CMVA 55. Meracie zariadenie Microlog CMVA 55 pozostáva z :

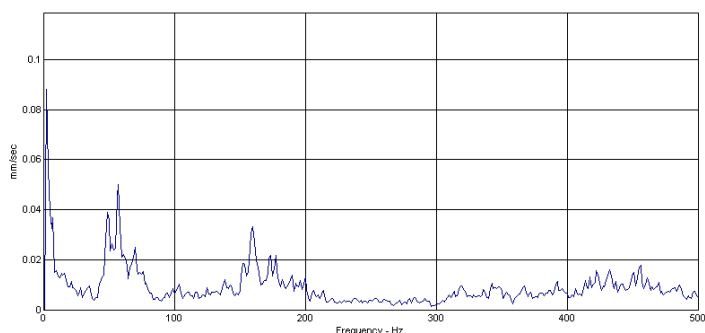
- Piezo-elektrického snímača vibrácií,
- Dátového kolektora,
- Prenosného modulu,
- Počítača s vyhodnocovacím programom PRISM4.

Piezoelektrický snímač vibrácií sníma vibrácie pri vŕtaní v smere osi postupu vŕtania. V dátovom kolektore sa zaznamenáva zrýchlenie vibračného signálu a integruje sa na rýchlosť vibračného signálu. Takto zosnímané amplitúdy rýchlosti vibrácií v osi vŕtania sa zapisujú do pamäti meracieho zariadenia a vyhodnocujú sa vo frekvenčnom spektre mechanického systému vŕtacieho standu pri vŕtaní.

Pred samotnými experimentmi s rotačným vŕtaním hornín boli ešte overené frekvenčné spektrá pomocných zariadení skúšobného standu. Amplitúdy frekvenčného spektra výplachového čerpadla s elektromotorom a zubového čerpadla s elektromotorom (zariadenia hydraulického posuvu vzorky) sú o dva rády menšie v porovnaní s amplitúdami frekvenčného spektra rozpojovacieho nástroja (obr. 1, 2).



Obr.1: Veľkosť amplitúd vo vibračnom frekvenčnom spektre hydraulického čerpadla s elektromotorom. Vyššie harmonické frekvencie zodpovedajúce frekvencii elektrickej siete.



Obr. 2: Veľkosť amplitúd vo vibračnom frekvenčnom spektre výplachového čerpadla s elektromotorom.

Z tejto skutočnosti vyplýva, že uvedené zariadenia minimálne ovplyvňujú frekvenčné spektrum pri vŕtaní a ich vplyv na merané frekvenčné spektrá pri vŕtaní možno zanedbať.

Vibrácie pri vŕtaní boli merané a zaznamenávané pri rôznych vstupných parametroch. Pri konštantných otáčkach $13,33 - 23,3 \text{ s}^{-1}$ sa postupne menili prítlak na hodnoty 5500 N, 7500 N, 9500 N a 11500 N. Pri experimentoch sa používali diamantové impregnované nástroje s priemerom 46 mm so 6 a 8 výplachovými kanálíkmi. Vibračné spektrá sa namerali pri vyššie uvedených parametroch aplikovaných počas vŕtania andezitu Ruskov, žuly Hnilec a vápenca Včeláre.

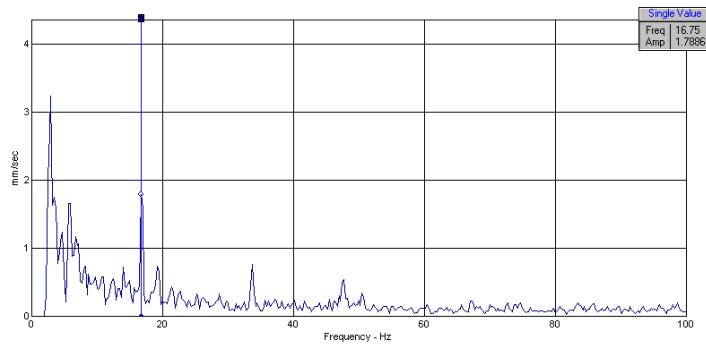
Vibračný signál meraný počas vŕtania v časovej oblasti sa transformuje pomocou rýchlej Fourierovej transformácie na frekvenčné spektrum. Frekvenčné spektrum pri vŕtaní bolo zaznamenávané v rozsahoch 0 – 100 Hz. Analýzou experimentálnych frekvenčných spektier rýchlostí vibrácií sme identifikovali otáčkovú frekvenciu hriadeľa vŕtacieho nástroja. Na otáčkovej frekvencii rozpojovacieho nástroja je výrazná amplitúda.

Na obrázku 3(a-d) je vo frekvenčnom spektre dokumentovaná otáčková frekvencia vŕtacieho nástroja pri otáčkach cca 16 s^{-1} a aplikovaných prítlakoch 5800 N, 7600 N, 9500 N a 11360 N počas vŕtania andezitu.

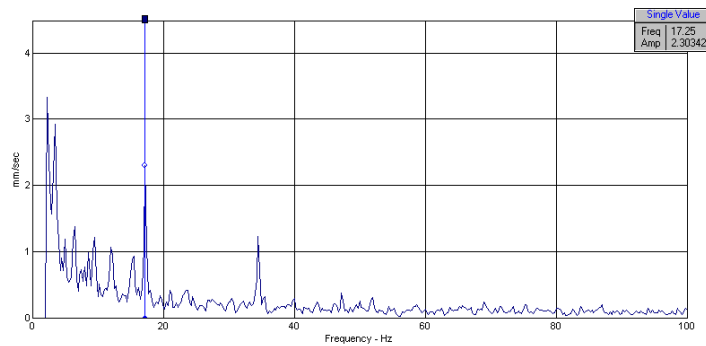
Na obrázku 4(a-d) je vo frekvenčnom spektre dokumentovaná otáčková frekvencia vŕtacieho nástroja pri otáčkach cca 16 s^{-1} a aplikovaných prítlakoch 5700 N, 7600 N, 9600 N a 11300 N počas vŕtania vápenca.

Z obrázkov 3 a 4 vyplývajú nasledujúce vývody. S nárastom prítlaku sa zväčšuje veľkosť amplitúdy rýchlosti vibrácií, aj keď rastúci trend je narušený určitými výnimkami, vid'. pokles veľkosti amplitúdy u andezitu pri hodnote prítlaku 9 500 N a takisto pokles veľkosti amplitúdy rýchlosti vibrácií u vápenca pri prítlaku 11 320 N. Tu si treba uvedomiť, že hornina, aj akokoľvek rovnorodá, je anizotropný materiál s lokálne sa meniacimi vlastnosťami, ktoré nie je možné identifikovať pred ich rozpojovaním. Upresnenie týchto trendov si vyžaduje množstvo experimentov a využitie aparátu matematickej štatistiky.

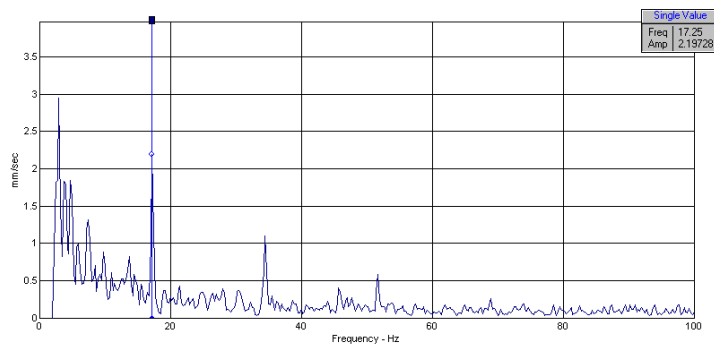
Je možné vysledovať rozdiel vo veľkosti amplitúd u andezitu a u vápenca. Andezit Ruskov sa pri zaťažovaní, teda aj pri vŕtaní, prejavuje pružne, kým pre vápenec Včeláre je typická veľká plastická deformácia pri zaťažovaní.



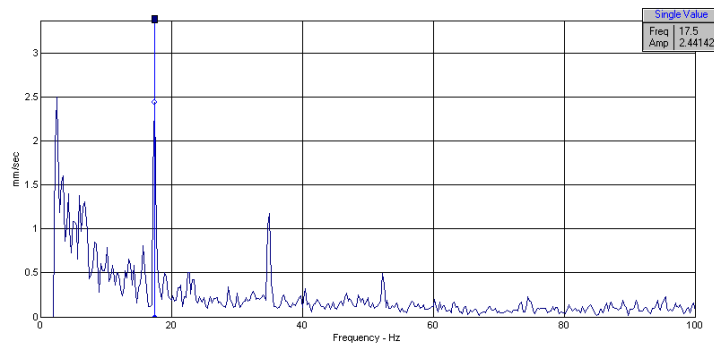
a)



b)

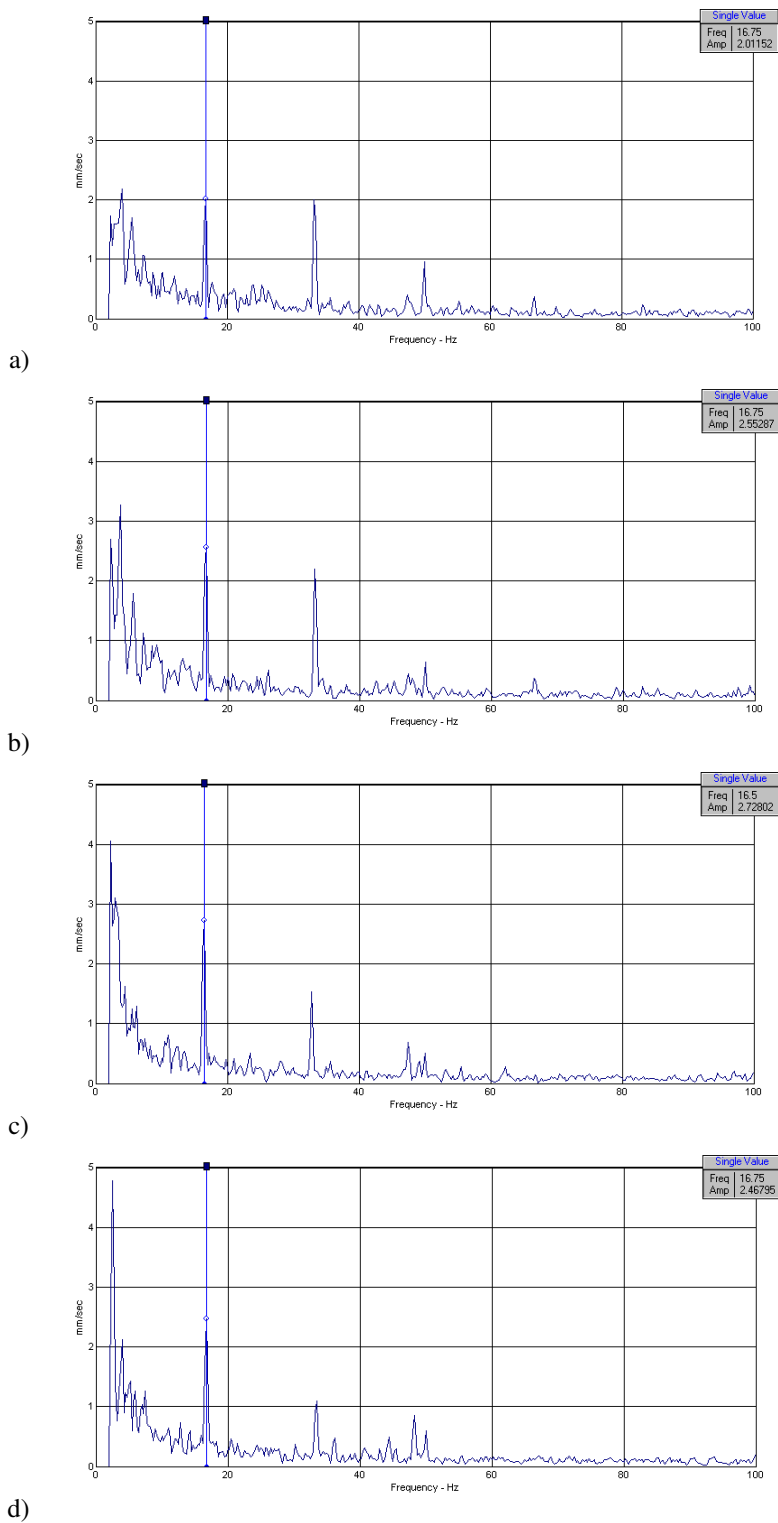


c)

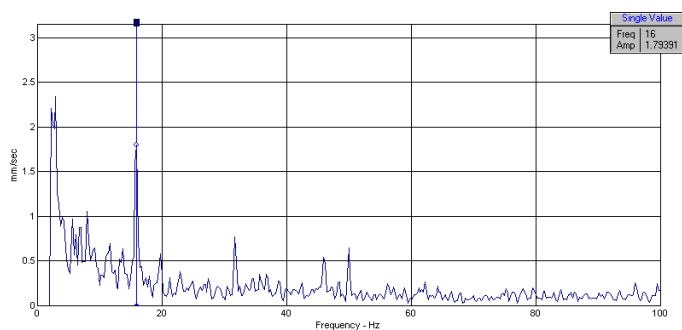


d)

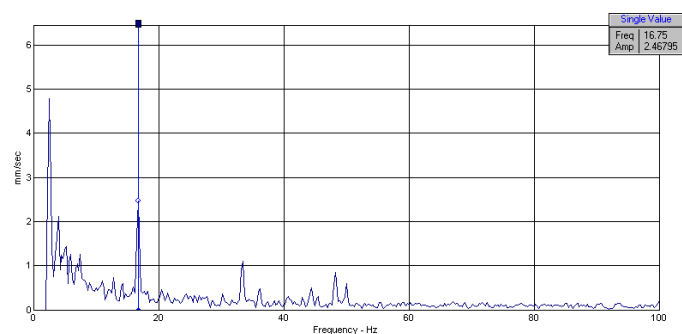
Obr.3: Frekvenčné spektrum vŕtacieho nástroja pri otáčkach cca 16 s^{-1} (1000 min^{-1}) počas vŕtania andezitu a pri prítlakoch: a) 5800 N, b) 7600 N, c) 9500 N a d) 11360 N.



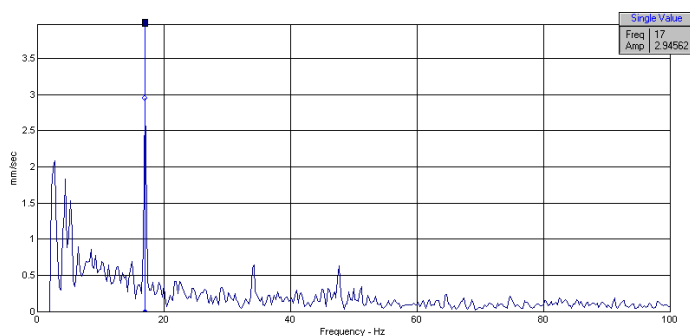
Obr.4: Frekvenčné spektrum vŕtacieho nástroja pri otáčkach cca 16 s^{-1} (1000 min^{-1}) počas vŕtania vápenca a pri prítlakoch: a) 5700 N, b) 7600 N, c) 9600 N a d) 11320 N.



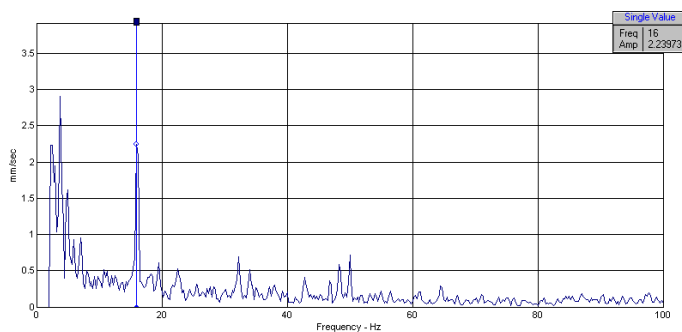
a)



b)



c)

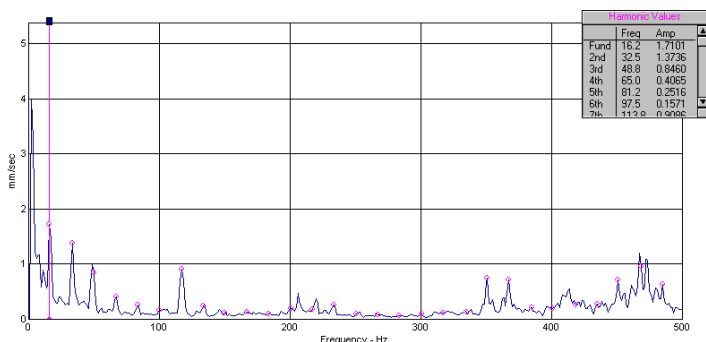


d)

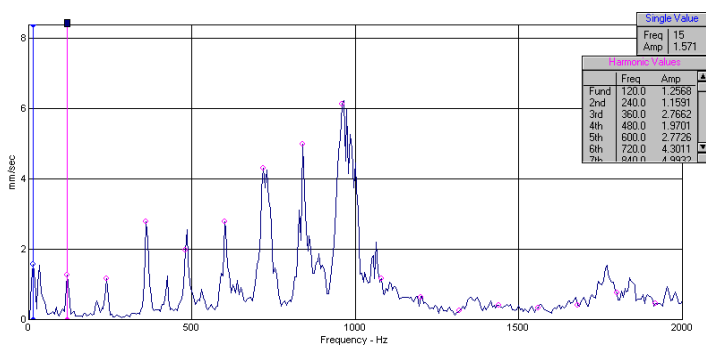
Obr.5: Frekvenčné spektrum 8 - a 6-kanálikovej korunky pri vŕtaní vápenca a žuly: a) vápenec, 8-kanáliková, $n=1000 \text{ min}^{-1}$, $F=11\,320 \text{ N}$, b) vápenec, 6-kanáliková, $n=1000 \text{ min}^{-1}$, $F=11\,700 \text{ N}$, c) žula, 8-kanáliková, $n=1000 \text{ min}^{-1}$, $F=11\,400 \text{ N}$, d) žula, 6-kanáliková, $n=1000 \text{ min}^{-1}$, $F=12\,100 \text{ N}$.

Na obr.5 sú znázornené frekvenčné spektrá rýchlosti vibrácií pri vŕtaní vápenca a žuly 8- a 6-kanálikovou korunkou pri takmer rovnakých vstupných režimových parametroch. Je zrejмый rozdiel v správaní sa vápenca a žuly pri zmene typu korunky. U vápenca došlo k nárastu veľkosti amplitúdy na otáčkovej frekvencii, u žuly došlo k poklesu. Môže to byť spôsobené jednak odlišným sa správaním daných hornín, ktoré je podmienené rozdielnymi štruktúrnymi, pevnostnými a pretvárnymi charakteristikami. Alebo to môže byť spôsobené zmenou charakteru rozpojovania daných hornín, ktorý je ale ovplyvnený uvedenými horninovými charakteristikami. Mohlo tu dôjsť k zmene od objemového rozpojovania k povrchovo-oterovému v prípade žuly. 6-kanáliková diamantová korunka má výrazne väčšiu kontaktnú plochu, cez ktorú sa realizuje prenos prítláčnej sily do horniny, ako 8-kanáliková. To znamená, že pri zachovaní vstupných parametrov, nedošlo k dostatočnému zatlačeniu segmentov korunky do povrchu horniny.

Boli urobené aj orientačné pokusy vo väčších frekvenčných rozsahoch. Cieľom bolo zistiť, či tam nie sú nejaké informácie, ktoré by sa dali neskôr rozpracovať. V týchto pokusoch sa ale ďalej nepokračovalo, kvôli komplikovanosti meraní, ktoré boli robené v tejto fáze výskumu.



Obr.6: Základná otáčková frekvencia 16,2 Hz a vyššie harmonické frekvencie odvodené od otáčkovej frekvencií 32,5 Hz, 48,8 Hz, 65 Hz a 81,5 Hz pri vŕtaní andezitu. Režim vŕtania: otáčky 16,2 s⁻¹, prítlak 7 500 N, 8-kanáliková korunka.



Obr.7: Základná otáčková frekvencia 15 Hz a vyššie harmonické frekvencie 120 Hz, 240 Hz, 360 Hz, ktoré nie sú odvodené od otáčkovej frekvencie. Režim vŕtania: otáčky 15 s⁻¹, prítlak 7 500 N, 6-kanáliková korunka, andezit Ruskov.

Na obr.6 je možné pozorovať pravé postranné pásmo frekvencií s menšími amplitúdami v porovnaní s amplitúdou prislúchajúcej základnej harmonickej frekvencií. V ďalšom štúdiu frekvenčného spektra je potrebné interpretovať spomínané postranné frekvenčné pásma a vysvetliť, čo ich generuje v rozpojovacom procese pri vŕtaní všetkých horninových vzoriek vo frekvenčnom intervale 0 – 2000 Hz (obr.7).

3 ZÁVER

V tejto fáze výskumu bolo snahou overiť, či aj v prípade rozpojovania hornín, konkrétne pri rotačnom vŕtaní diamantovými korunkami, je možné využiť vynútené vibrácie, ako zdroj informácií o rozpojovacom procese. Vibrácie boli hodnotené vo frekvenčnej oblasti, ktorá je jednou z možností spracovania nameraných údajov. Frekvenčné spektrum rýchlostí vibrácií je nositeľom informácií o otáčkovej frekvencii. Vo frekvenčnom spektre rýchlostí vibrácií je možné identifikovať otáčkovú frekvenciu nástroja (16 s^{-1}), vid'. obr. 3a, b, c, d a obr. 4a, b, c. Na obr. 6 je identifikovaná otáčková frekvencia nástroja a vyššie harmonické frekvencie, odvodené od základnej otáčkovej frekvencie. V každom frekvenčnom spektre zrýchlenia a rýchlosti vibrácií je možné identifikovať otáčkovú hladinu rozpojovacieho nástroja. Táto frekvencia je zvýraznená veľkosťou amplitúdy vo frekvenčnom spektre. Frekvenčné spektrum je nositeľom informácií o režime rozpojovania, konkrétne o počte otáčok rozpojovacieho nástroja. Túto informáciu by bolo možné využiť pri riadení a optimalizácii procesu rozpojovania.

V ďalšom štúdiu frekvenčného spektra je potrebné sa zamerať na ďalšie príznaky rozpojovacieho procesu, ako je prítlak, charakteristiky nástroja a rozpojovanej horniny.

POĎAKOVANIE

Príspevok bol vytvorený realizáciou projektu „Centrum excelentného výskumu získavania a spracovania zemských zdrojov“ na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja, v aktivite č.1.2 „Identifikácia mechanických vlastností nerastných surovín“.

This contribution is the result of the project implementation "Research excellence centre on earth sources extraction and treatment" supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF, in the activity nr.1.2. „Identification of mechanical properties of raw materials“.

LITERATURA

- [1] ABU-MAHFOUZ, I. Drilling wear detection and classification using vibration signals and artificial neural network. Int. J. Machine tools & Manufacture. 2003, Nr.43, pp. 707-720, ISSN 0890-6955
- [2] BEŇO, J. & MAŇKOVÁ, I. *Technologické a materiálové činitele obrábania*. Košice: VIENALA, 2004, 418 pp. ISBN 80-7099-701-X.
- [3] QUADRO, A. L. & BRANCO, J. R. T. Analysis of the acoustic emission during drilling test. Surface and Coatings Technology. 1997, Vol. 94-95, pp. 691-695. ISSN
- [4] TANDON, N., CHOUDHURY, A. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. Tribology International, Nr.32, pp.469-480, ISSN 0301-679X

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Radek Kučera, Ph.D., VŠB – Technická univerzita Ostrava